



OST

Ostschweizer
Fachhochschule

Gross- und Hochtemperatur- Wärmepumpen

Input Referat für



17. November 2022, Buchs

Dr. Cordin Arpagaus

cordin.arpagaus@ost.ch

Tel. +41 81 377 94 34

Institut für Energiesysteme IES

www.ost.ch/ies



Co-Autoren:

- Dr. Frédéric Bless
- Michael Uhlmann
- Dr. Sidharth Paranjape
- Leon Brendel, PhD
- Prof. Stefan Bertsch, PhD

Zum Einstieg das Buch «Hochtemperatur-Wärmepumpen»



VDE
VERLAG Technik. Wissen. Weiterwissen.

Alle Kategorien ▾ Produktsuche

HOME NORMEN ▾ BÜCHER ▾ SEMINARE ▾ ZEITSCHRIFTEN ▾ SERVICE ▾

HOME / BÜCHER / Hochtemperatur-Wärmepumpen

Rubriken: [Kältetechnik](#) / [Das Gebäude - Gebäudetechnik, TGA und Facility Management](#)

Arpagaus, Cordin
Hochtemperatur-Wärmepumpen
Marktübersicht, Stand der Technik und Anwendungspotenziale

2019, 138 Seiten, 170 x 240 mm, Broschur
ISBN 978-3-8007-4550-0, E-Book: ISBN 978-3-8007-4551-7
Persönliche VDE-Mitglieder erhalten auf diesen Titel 10% Rabatt

► Inhaltsverzeichnis ► Vorwort ► Leseprobe

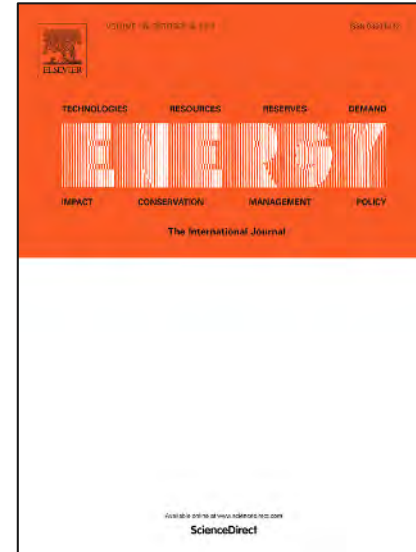
Link: <https://www.vde-verlag.de/buecher/494550/hochtemperatur-waermepumpen.html>

Zum Einstieg unsere Übersichtsarbeiten

Arpagaus C., Bless F., Schiffmann J., Bertsch S.S.: Multi-temperature heat pumps: A literature review, International Journal of Refrigeration, 2016, 69, 437–465.



Arpagaus C., Bless F., Uhlmann M., Schiffmann J., Bertsch S.S.: Review - High temperature heat pumps: Market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials, Energy, 2018, 152, 985-1010



Übersicht

- **Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen**
- **Marktübersicht über Hochtemperatur Wärmepumpen**
- **Anwendungsbeispiele Grosswärmepumpen**
- **Aktuelle Entwicklungen**



Definition einer Industrierärmepumpe

”

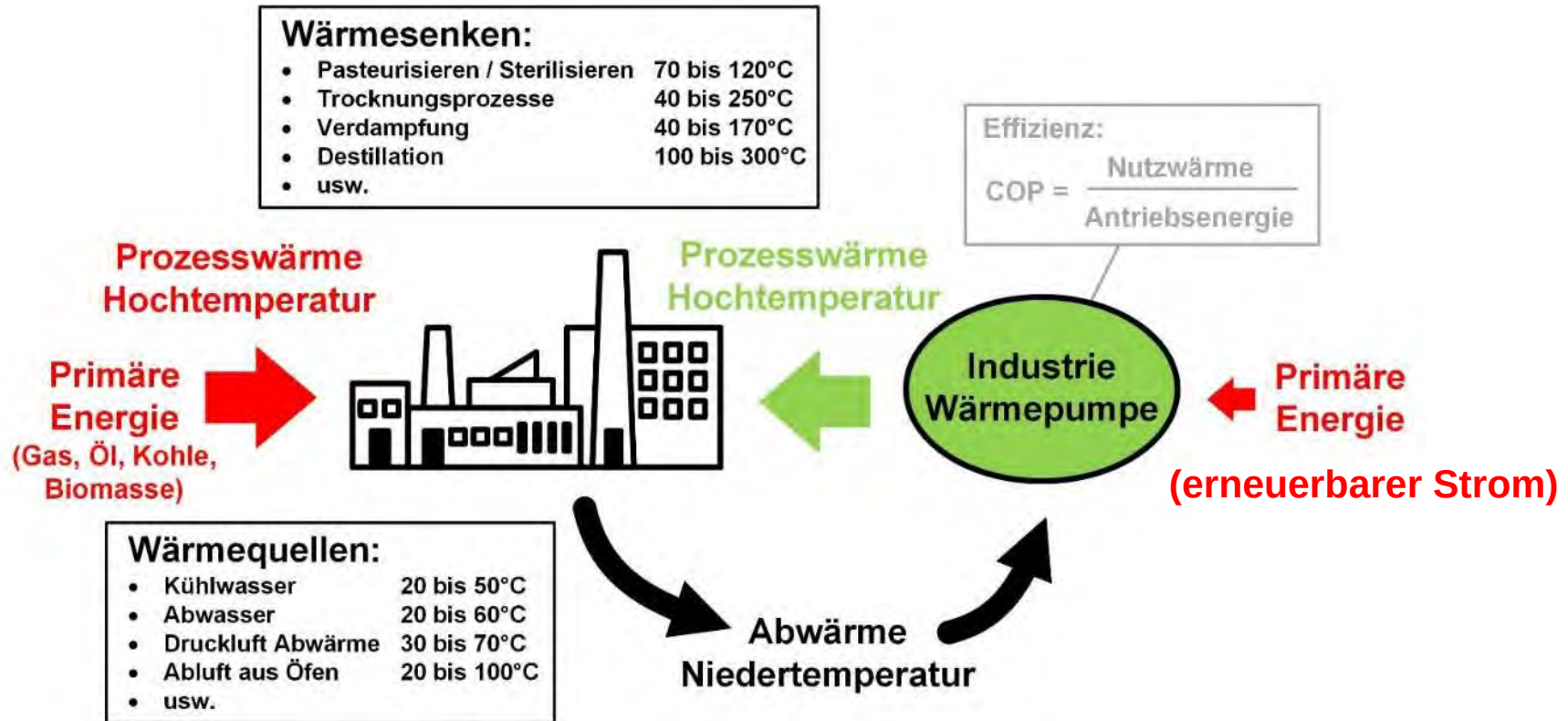
Wärmepumpen im **mittleren und hohen Leistungsbereich** und Temperaturen **bis 200 °C**, die zur **Wärmerückgewinnung** und Wärmeaufwertung in industriellen Prozessen, aber auch zum **Heizen, Kühlen und Klimatisieren** in **Gewerbe- und Industriegebäuden** eingesetzt werden können.

“

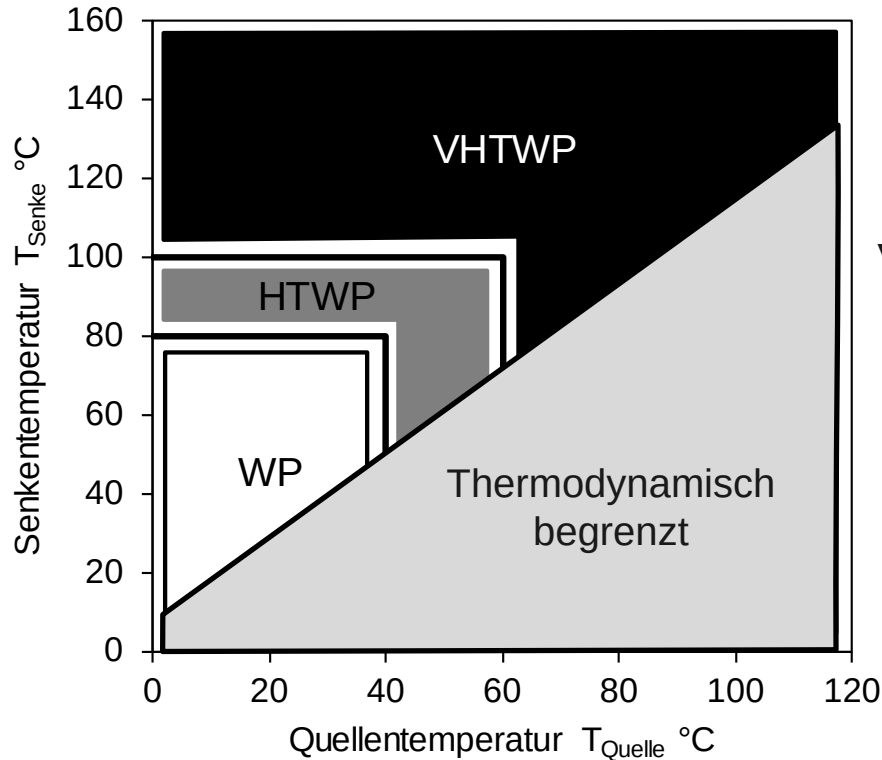
*Quelle: IEA HPT Annex 48 Industrial Heat Pumps
(<https://heatpumpingtechnologies.org/annex48>)*

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

Innerbetriebliche Abwärmenutzung



Temperaturniveaus für Kompressionswärmepumpen



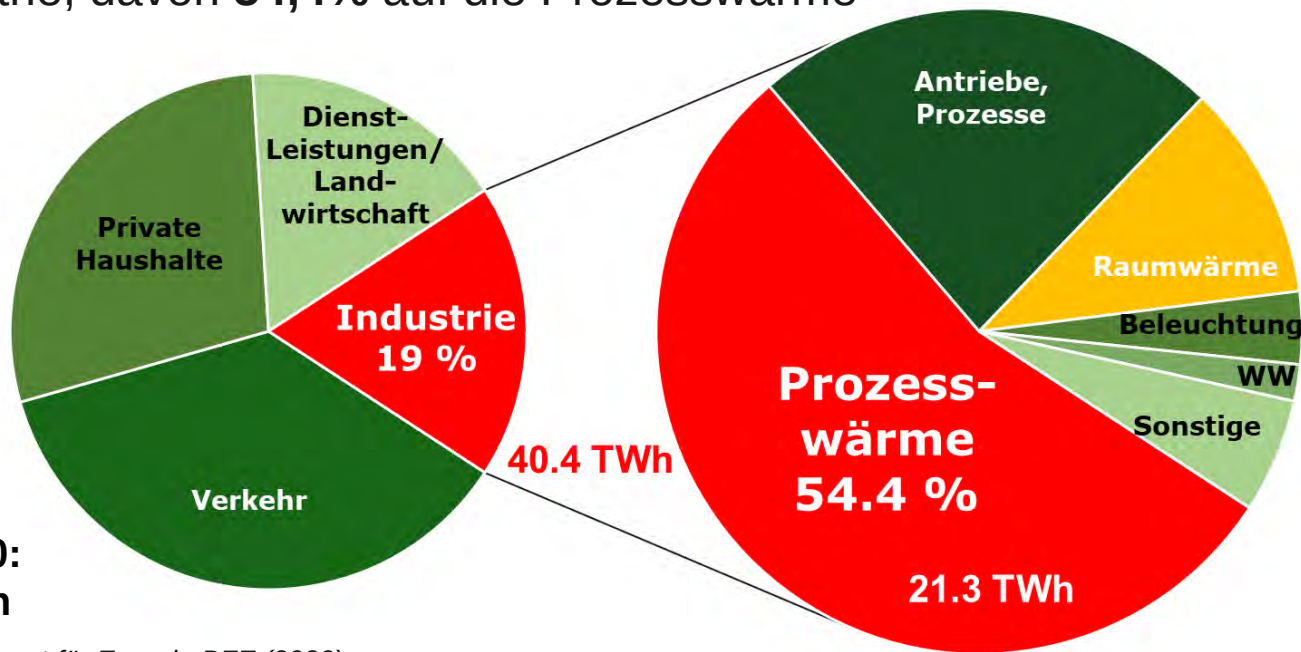
VHTWP: Höchsttemperatur Wärmepumpe

HTWP: Hochtemperatur-Wärmepumpe

WP: Konventionelle Wärmepumpe

Energieverbrauch in der Schweiz

Rund **19%** des gesamten Energieverbrauchs der Schweiz entfallen auf die Industrie, davon **54,4%** auf die Prozesswärme



Total 2020:
207.6 TWh

Quelle: Bundesamt für Energie BFE (2020)

Energetische Bedeutung von Wärmepumpen in der Industrie

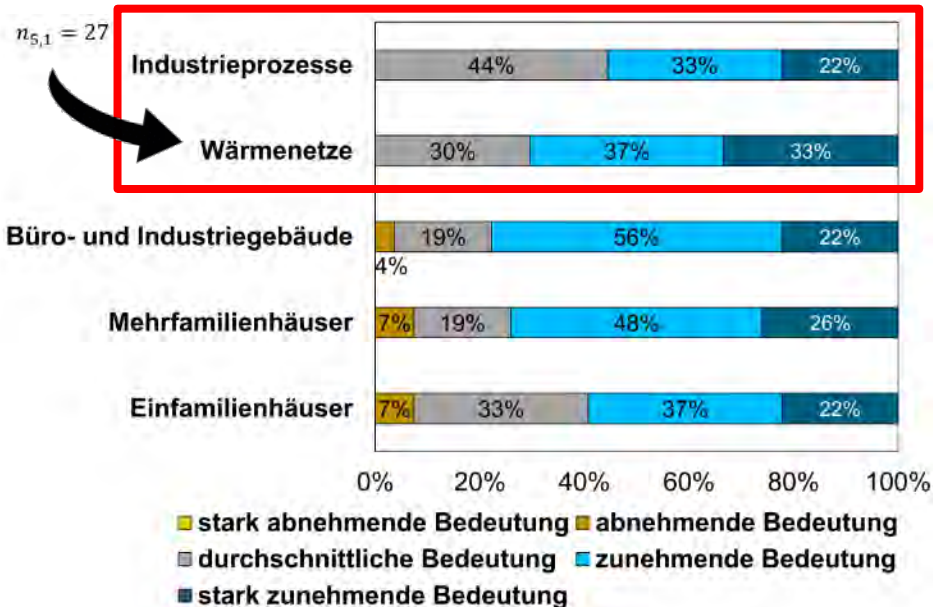
	Energieverbrauch	Datenquelle
Industrie	43'333 GWh	BFE (2015: 156 PJ, 1 PJ = 278 GWh)
Prozesswärme	23'573 GWh	54.4% (BFE)
Prozesswärme und Dampf unter 150°C	7'072 GWh	30% (Schätzung auf EU Daten)
Einsparungspotential	2'829 GWh	40% (Basierend auf Berechnungen SCCER EIP)



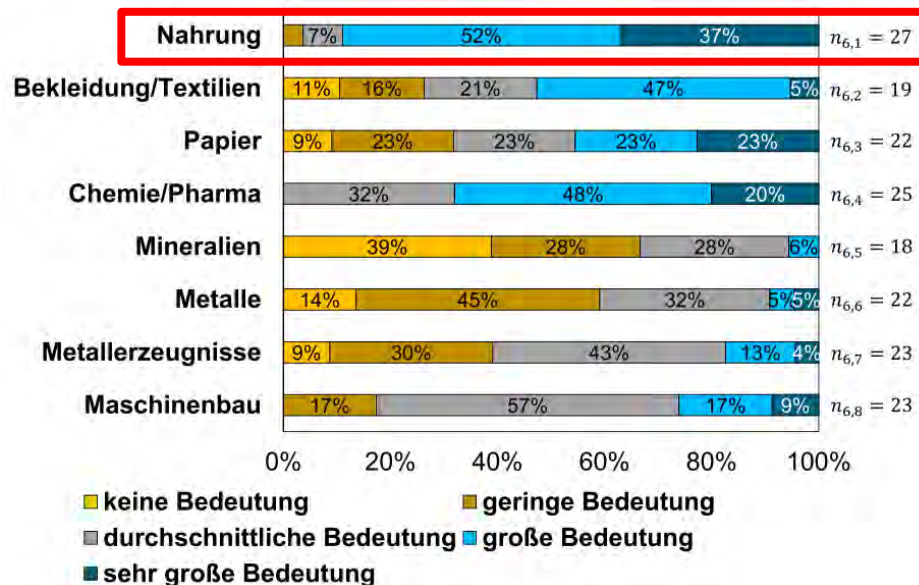
ca. 6.5% des industriellen Energiebedarfs kann reduziert werden

Anwendung von Grosswärmepumpen in der Schweizer Industrie

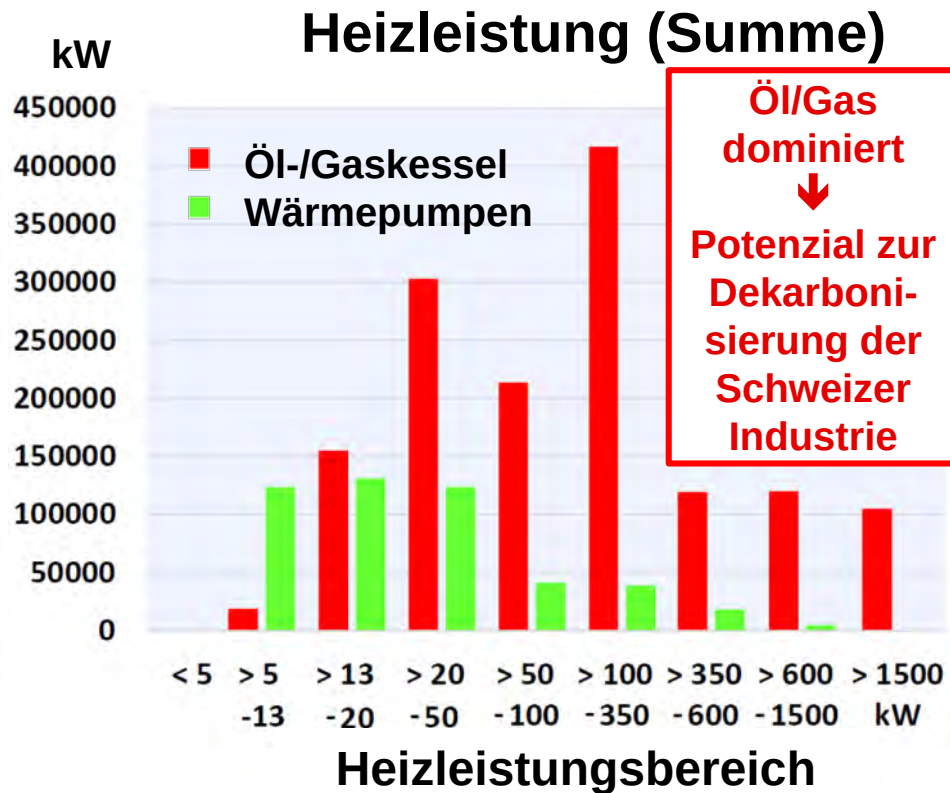
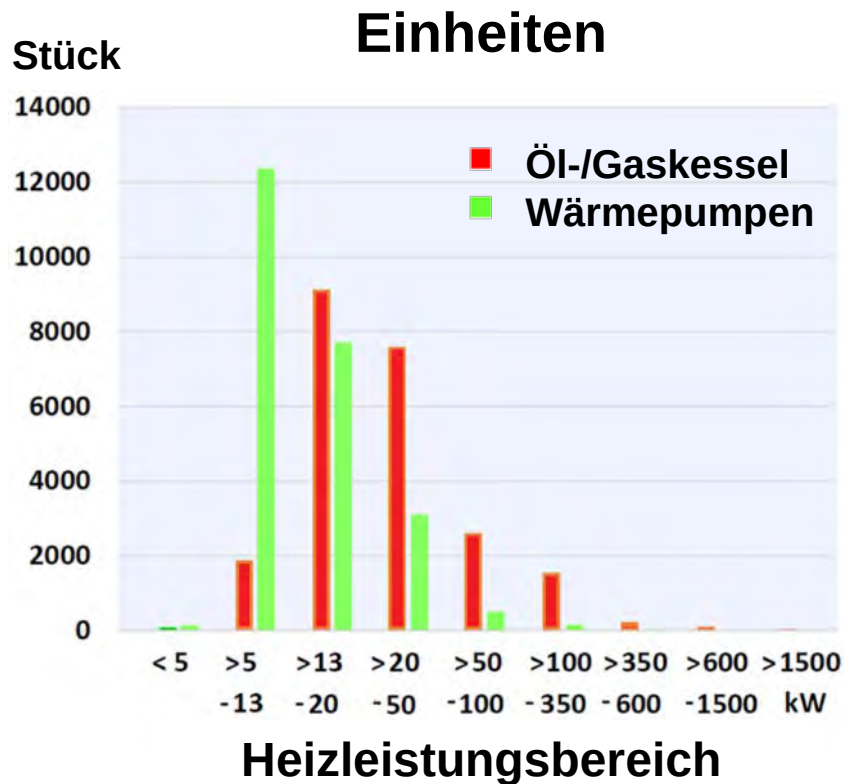
Bedeutung der Wärmepumpentechnik in den nächsten 5 Jahren



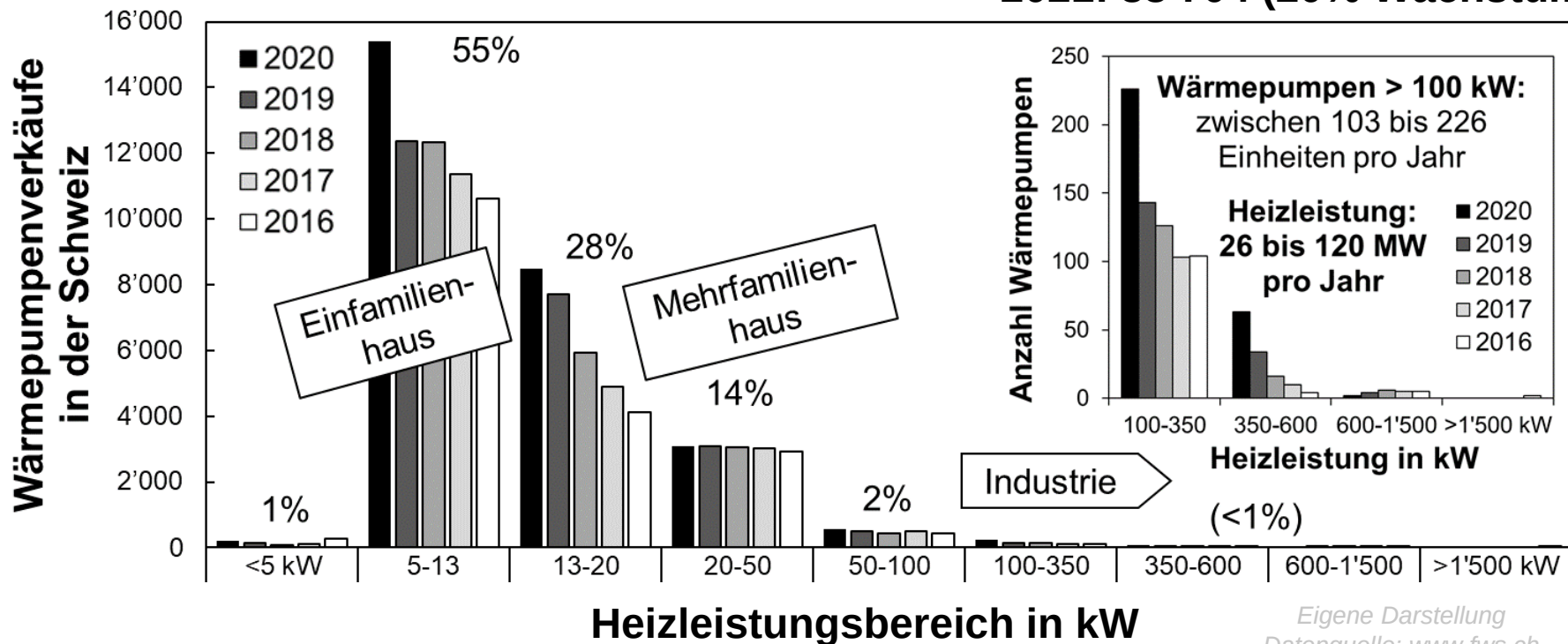
Bewertung des Anwendungspotenzials nach Industriezweigen



Vergleich von Wärmepumpen und Öl-/Gasheizkesseln (2019)



2021: 33'704 (20% Wachstum)

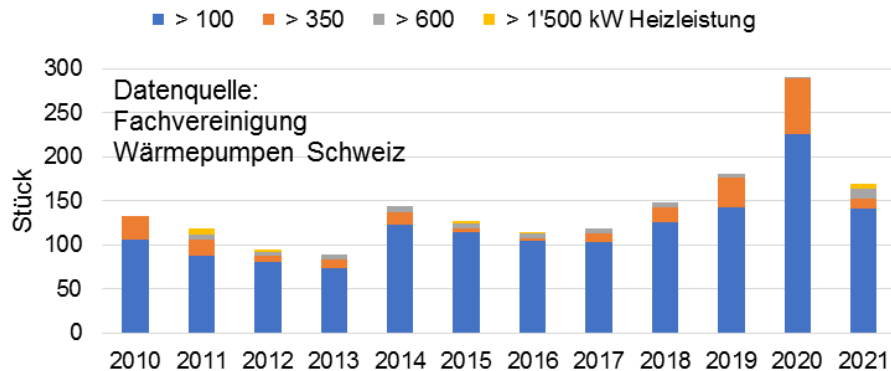


Eigene Darstellung
Datenquelle: www.fws.ch

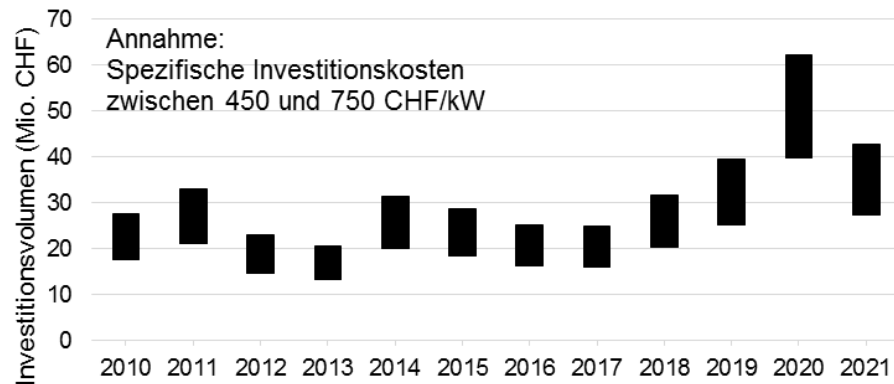
Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

Verkaufte Wärmepumpen mit mehr als 100 kW Heizleistung und abgeschätztes Investitionsvolumen

Verkaufte Wärmepumpen mit mehr als 100 kW Heizleistung in der Schweiz

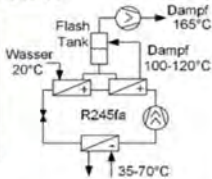
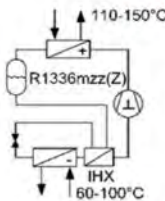
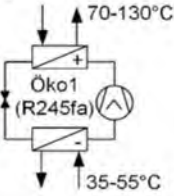
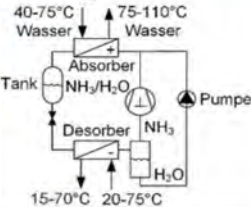
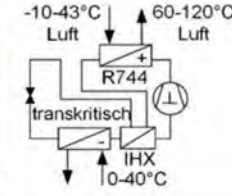
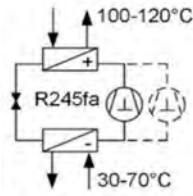
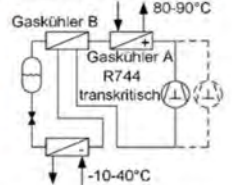
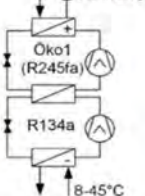
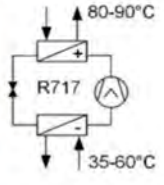


Investitionsvolumen von Wärmepumpen mit über 100 kW Heizleistung in der Schweiz



Marktübersicht über Hochtemperatur Wärmepumpen

Auswahl an industriellen HTWP mit Keisläufen

 Kobe Steel Kobelco SGH 120/165  	 Viking Heat Engines HeatBooster S4  	 Ochsner IWWDS ER3c4  
 Hybrid Energy Hybrid Heat Pump  	 Mayekawa Eco Sirocco  	 Combitherm HWW R245fa  
 ENGIE (ex-Dürr Thermea), thermeco₂ HHR1000 mit 6 Hubkolbenverdichtern bis 1100 kW  	 Ochsner IWWDS R2R3b  	 Star Refrigeration, Neatpump NP601, Vilter VSSH Schraubenkompressor 76 bar  

Marktübersicht über Hochtemperatur Wärmepumpen

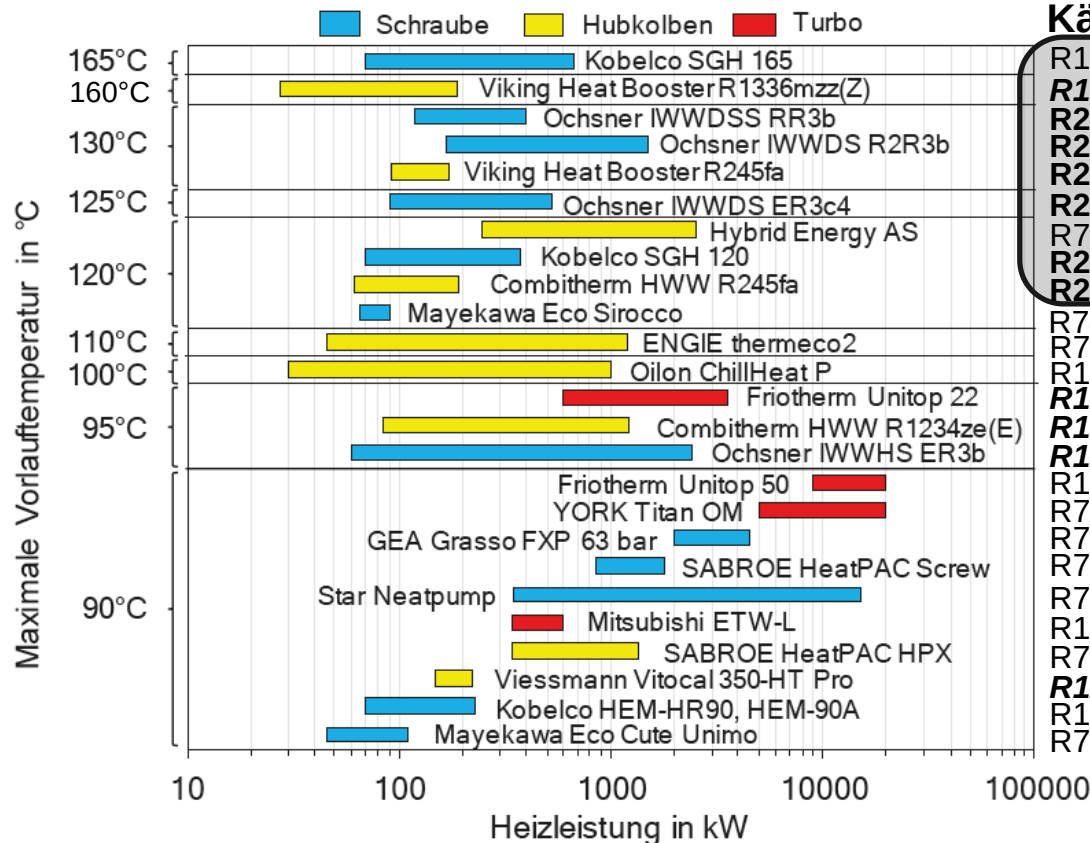
Auswahl an industriellen HTWP mit Keisläufen

 Ochsner IWWDS ER3b  70-130°C R245fa Zwischeneinspritzung Economiser 35-55°C	 GEA Grasso FX P Heat Pump Doppelschraubenkompressor bis 63 bar  80-90°C R717 35°C	 Kobe Steel Kobelco HEM-HR90  65-90°C R134a/ R245fa -10-40°C Luft
 Friotherm Unitop 22/22, 3'300 kW, zweistufiger Turbokompressor  55°C 95°C R1234ze(E) Flash Tank 29°C 34°C	 Viessmann Vitocal 350-HT Pro  90°C Sammeler R1234ze(E) IHX 40-50°C	 Johnson Controls, SABROE HeatPAC HPX Hubkolbenkompressor bis 60 bar  70°C 90°C R717 34°C 39°C
 Mitsubishi ETW-L  50-80°C 60-90°C Economizer R134a 5-45°C 10-50°C	 Oilon ChillHeat P300 SU HC+ R1234ze mit 4 parallel geschalteten Kolbenverdichtern  45°C 80-100°C R1234ze(E) 35-40°C 40-45°C	 Frigopol HighButane 2.0  70-95 °C 100-130°C R600 IHX 40-70°C 50-80°C

Marktübersicht über Hochtemperatur Wärmepumpen

(Status Ende 2018)

Auswahl an industriellen HTWP mit Vorlauftemperatur über 90 °C



Kältemittel

R134a/R245fa
 R1336mzz(Z)
 R245fa
 R245fa
 R245fa
 R245fa
 R717 (NH₃)
 R245fa
 R245fa
 R744 (CO₂)
 R744 (CO₂)
 R134a/R1234ze(E)
 R1234ze(E)
 R1234ze(E)
 R1233zd(E)
 R134a
 R717 (NH₃)
 R717 (NH₃)
 R717 (NH₃)
 R717 (NH₃)
 R134a
 R717 (NH₃)
 R1234ze(E)
 R134a/R245fa
 R744 (CO₂)

Kobelco SGH 120/165
 (Steam Grow Heat Pump)



HeatBooster
 (ex-Viking Heat
 Engines AS)



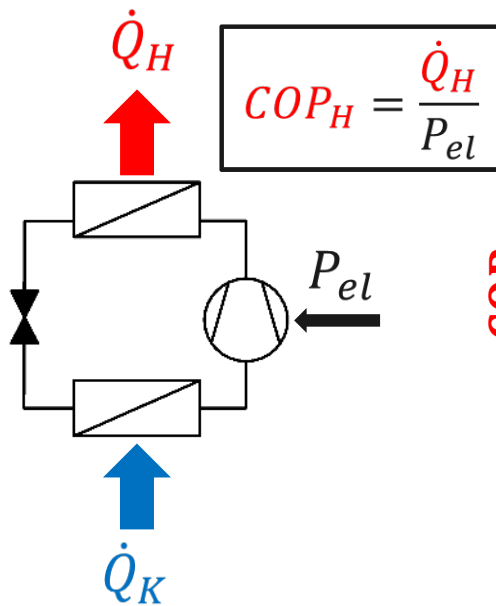
HEATEN

OCHSNER
 ENERGIE TECHNIK

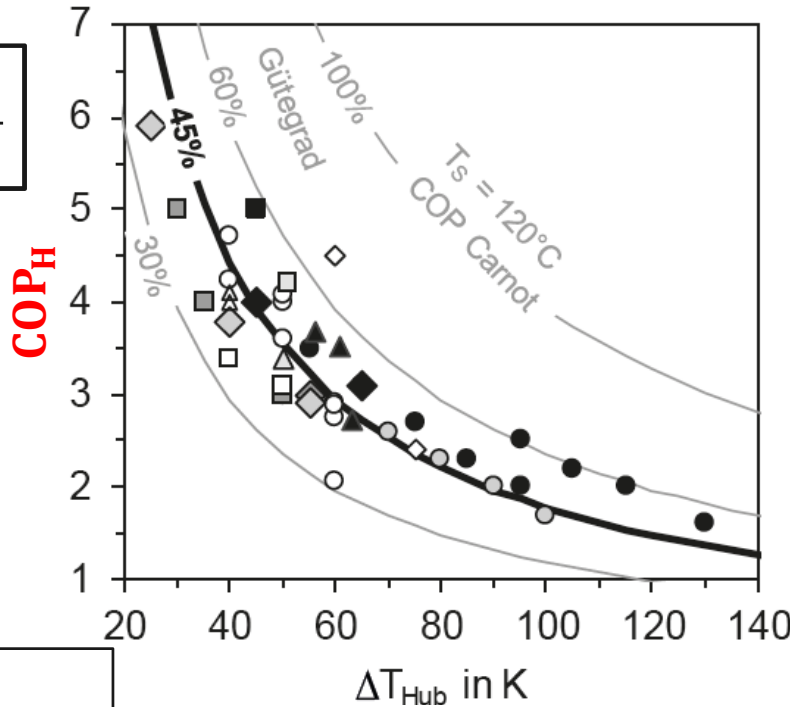


Marktübersicht über Hochtemperatur Wärmepumpen

Effizienz (Leistungszahl COP) und Gütegrad



$$COP_H = \frac{\dot{Q}_H}{P_{el}}$$



Faustregel:
COP von etwa 4.0 bei 50 K
Temperaturhub

ΔT_{Hub} in K
(= $T_{Senke, aus} - T_{Quelle, ein}$)
Temperaturhub von Quelle zu Senke

- Kobelco SGH 120/165
- Kobelco HEM-HR90
- Viking HeatBooster S4 R1336mzz(Z)
- ◆ Ochsner IWWDS R2R3b
- ◆ Ochsner IWWDS ER3b
- ◆ Ochsner IWWDS ER3c4
- ◇ Hybrid Heat Pump
- ▲ Friotherm Unitop 22/22
- △ Combitherm
- GEA Grasso FX P
- Star Refrigeration Neatpump
- SABROE HeatPAC HPX
- Viessmann Vitocal 350-HT Pro
- △ Mitsubishi ETW-L

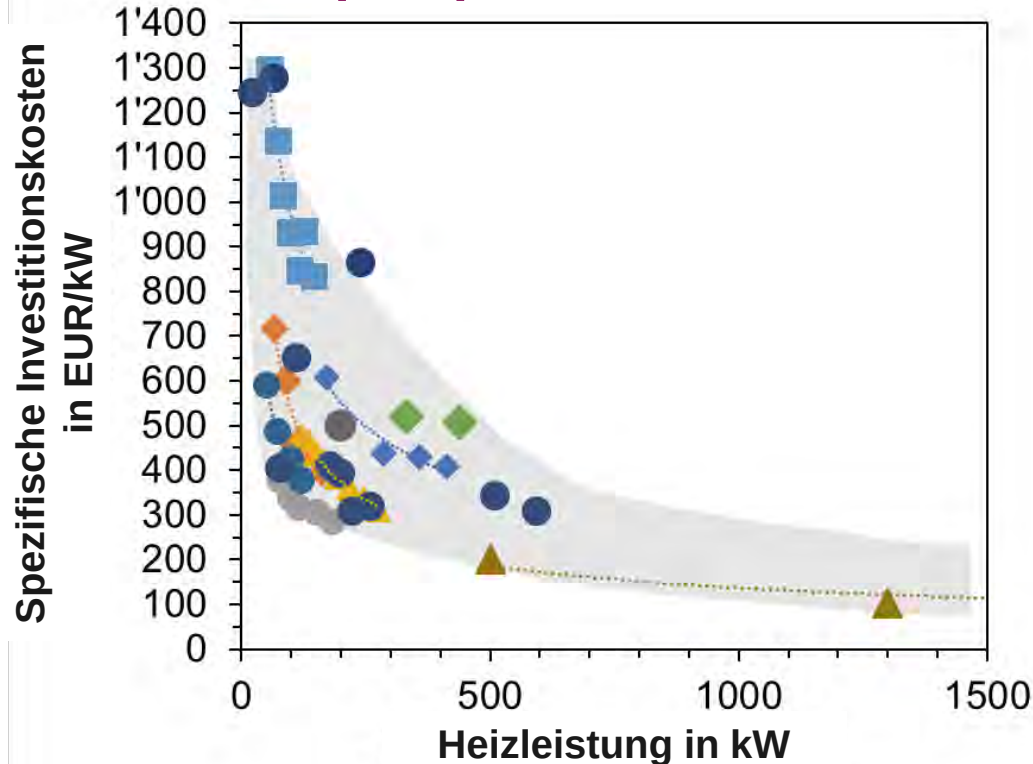
Fit-Kurve (45% Gütegrad):
 $COP_H = 68.455 \cdot \Delta T_{Hub}^{-0.76}$, $R^2=0.78$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_S}{T_S - T_Q}$$

Gütegrad =
 COP_H / COP_{Carnot}

Spezifische Investitionskosten

für Industriewärmepumpen in Funktion der Heizleistung



*Eigene Darstellung
Abschätzung basierend auf
Preisinformationen von
Wärmepumpen-Herstellern
in Europa*

Marktübersicht über Hochtemperatur Wärmepumpen

Beispiele für Großwärmepumpen (>1 MW) für Fernwärme und industrielle Anwendungen

Friotherm (CH)	Turboden (IT)	MAN Energy (CH)	Mitsubishi MHPS (DE)	Siemens (DE)	Ochsner (AT)	Kobelco (JP)
FRIOTHERM Heat Pump	LHP30 LHP150	ETES	D-GWP	Gross-WP	IWWDS R2R3b IWWHS ER3b TWIN	SGH 120/165
R1233zd(E) + R718 (Wasser)	R601 + R718 (n-Pentan + Wasser)	R744 (CO ₂)	R600a + R718 (Iso-Butan + Wasser)	HFOs	Öko (R245fa) R1233zd(E) (HFOs)	R245fa + R718
25 MW	2.7 MW 14.4 MW	5 bis 100 MW	4.3 MW	4 bis 70 MW	bis 750 kW TWIN bis 2.4 MW	bis 624 kW Kaskade 2.5 MW
137 °C	115 °C	150 °C	174 °C	150 °C	130 °C	165 °C



Hersteller

Anlagenentwickler in der Schweiz

Scheco AG



<https://www.scheco.ch>

Walter Wettstein AG Kältetechnik



<https://www.wwag.ch>

Zero-C



www.zero-c.ch

Friotherm AG



<https://www.friotherm.com>

MAN Energy Solutions



<https://www.man-es.com>

Potenzielle Anwendungen

HEISSWASSER

HEISSLUFT

DAMPF

- **Warmwassererzeugung für Wasch- und Reinigungsprozesse** (Lebensmittel, Fleisch, Produktwäsche) **in Kombination mit der Kälteerzeugung**
- **Heißlufterzeugung und Luftvorwärmung für Trocknungsprozesse** (Holz, Papier, Klärschlamm, Stärke, Ziegel, Tiernahrung) durch Abwärmenutzung
- **Prozessdampferzeugung (Niederdruckdampf)** für die Sterilisation und Pasteurisation von Lebensmitteln (z.B. Milch) mit Kühlwasser oder feuchter Abluft
- **Wärmerückgewinnung durch Rauchgaskondensation** in Biomasseverbrennungsanlagen
- **Nah- und Fernwärmenetze** (z.B. von Stadtwerken und Gemeinden)

Fallbeispiele

Industrielle Wärmepumpen in der Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Innosuisse – Swiss Innovation Agency



www.sccer-eip.ch



Link zum
Schlussbericht

<https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DokumentID=66033>

Wärmepumpen für Prozesswärme

Aufruf zur Eingabe von Projekten zur Dekarbonisierung der Prozesswärme



Finanzierung:

40% der Mehrkosten vgl. mit konventionellen Techniken

[Link zu den Förderkriterien](#)

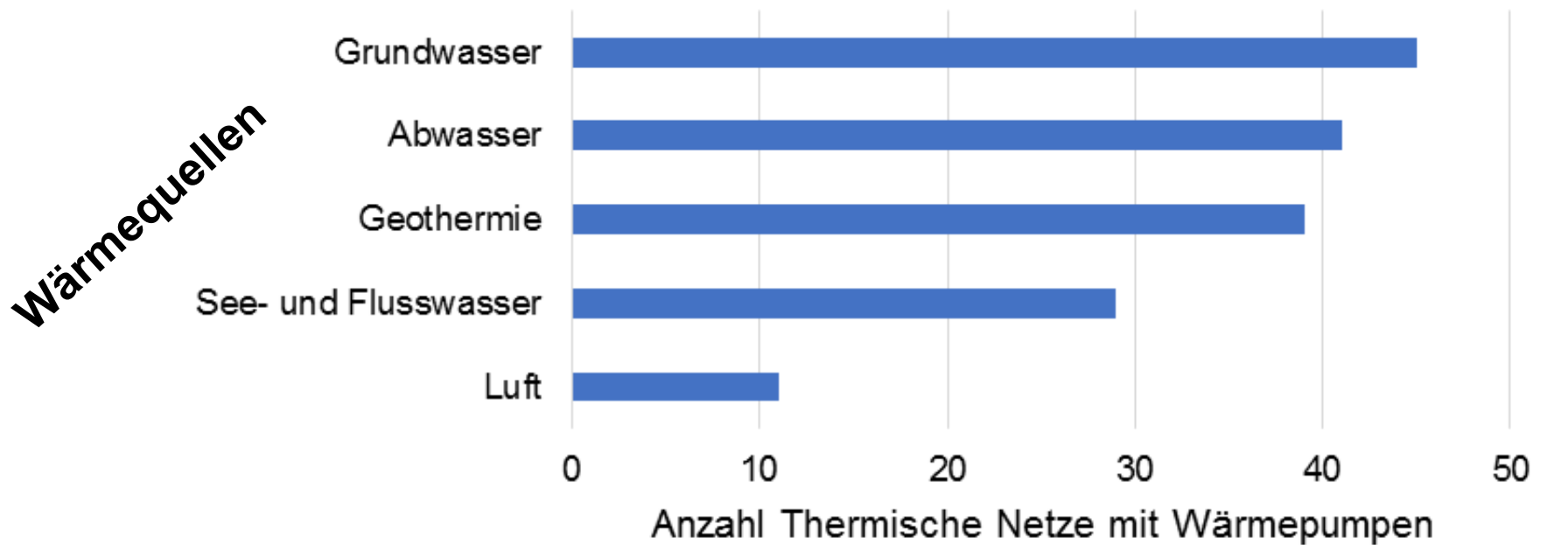


Kontakt:

Dylan Battistolo, dylan.battistolo@bfe.admin.ch

Frédéric Maurer, frederic.maurer@bfe.admin.ch

Thermische Netze mit Wärmepumpen in der Schweiz (165 von 1'077 = 15%)



(Datenquelle: <https://opendata.swiss/de/dataset/thermische-netze-nahwarme-fernwarme-fernkalte>, 26. Oktober 2022)

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

Thermische Netze mit Wärmepumpen in der Schweiz (Top 10)

Grundwasser [MW]

Name	Power
Wärme- Kälteverbund Torfeld Aarau	17.5
Wärme- Kälteverbund Kasinoareal Aarau	6.6
Les Vergers-ZIMEYSA	5.5
Greencity	4.3
Wärmeverbund Seetalplatz, Emmenbrücke	3.95
Calore SA Morettina	3.658
Wärmeverbund Champagne Biel	3.3
Emmi Emmen	3.2
Wärmeverbund Herrenacker Schaffhausen	2.6
Kraftwerkinsel Birsfelden	2.55

Abwasser [MW]

Name	Power
Energieverbund Schlieren	28.1
Wärmeverbund AMS Arbon-Steinach-Roggwil	18
Wärmeverbund ARA Worblental	17.5
EWZ Energiezentrale Zürich-Altstetten	14
Energieverbund Neuhausen am Rheinfall	13.5
Wärmeverbund Rheinfelden Augarten Weiherfeld	11.2
Wärmeverbund ARA Chur	10
Wärmeversorgung Binningen AG	8.5
Kalter Fernwärmering Frauenfeld	8.25
Fernwärme ARA Küsnacht	6.6

Geothermie [MW]

Name	Power
Wärmeverbund Riehen	17.5
Familiengenossenschaft FGZ Anergienetz	17.5
Anergienetz ETH Höggerberg	8
Roche Kaiseraugst Ost	6.8
La Gradelle	6.5
Laurana	5
Freilager Albisrieden Anergienetz	2.8
Richti Areal Wallisellen	2.5
Eynard-Fatio	1.65
Wärmeverbund Bissau	1.5
Wärmeverbund Bad Ragaz naturel	1

See- und Flusswasser [MW]

Name	Power
CADéco Jonction	35
GeniLac	20
Réseau thermique EPFL	19
Raffreddamento CSCS Lugano	16
Wärmeverbund Circulago	12
See-Energie-Netz Horw Kriens	9
CAD La Tour-De-Peilz	8.9
Seewasserverbund Midor Meilen	7.5
Freecooling la Maladière	6
St. Moritz Seewasserverbund	5

Luft

Name	Place
Fernwärmeversorgung Gütsch	Willisau
Wohnbaugenossenschaft Regenbogen	Mühlethurnen
Heizgenossenschaft Vorderkrauerhaus-Meiengrüen	Neuenkirch
Hofstetterfeld	Sursee
Siedlung Eggmatt	Mühlethurnen
Nahwärmeversorgung Dorfmatte Rubigen	Rubigen
St. Georg	Sursee
Paradiesli	Oberkirch
Wärmeverbund Alterswohnungen Dulliken	Dulliken
Überbauung Pro Familiaweg	Altdorf
Wärmeversorgung Dätwyler AG	Altdorf

(Datenquelle: <https://opendata.swiss/de/dataset/thermische-netze-nahwarme-fernwarme-fernkalte>, 26. Oktober 2022)

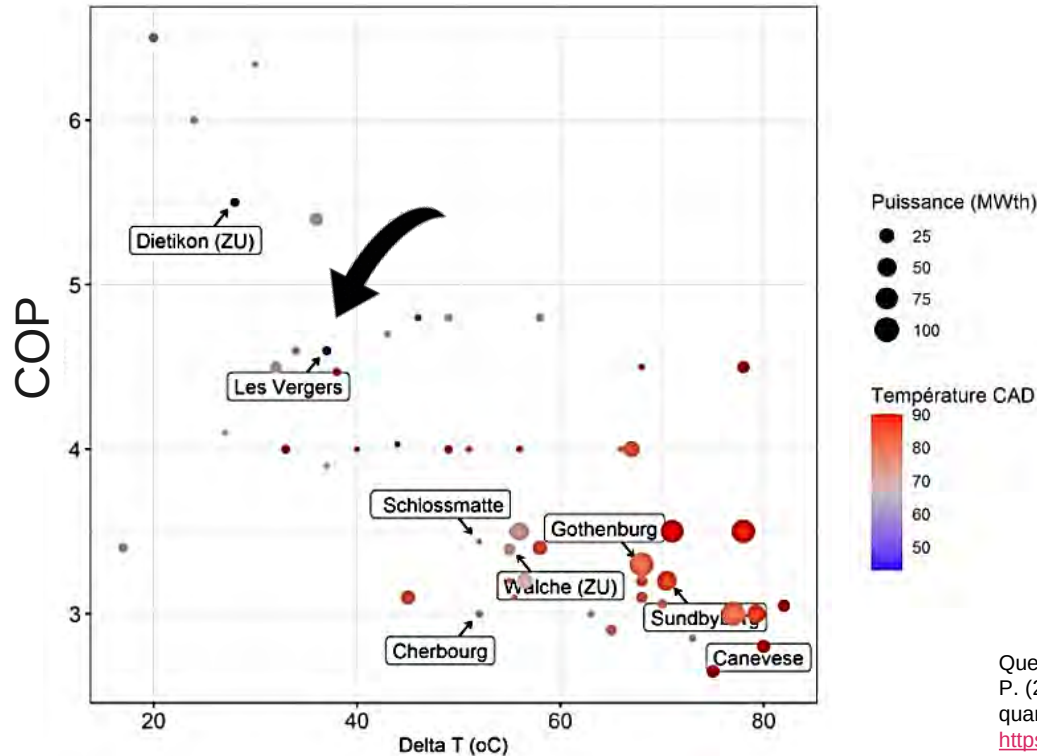
Fernwärme mit 5 MW Grundwasser-WP



- Betreiber: SIG
- Moderne Gebäude (170'000 m²)
- **Heizleistung: 5 MW**
- **Hersteller: Friothers AG**
- Quelle: Grundwasser, Verdampfereintritt 13 bis 16 °C
- Senke: 50 °C (Heizung) / 65 °C (WW)
- COP: 4.3 (Heizung) / 3.3 (WW)
- Jahresarbeitszahl (JAZ, SPF): 3.69

Quelle: Schneider, S., Brischoux, P., Hollmüller, P. (2022):
Retour d'expérience énergétique sur le quartier des Vergers à Meyrin
(Genève), <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:164877>

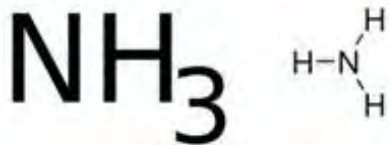
COP von Wärmepumpen für Fernwärme Anwendungen



Quelle: Schneider, S., Brischoux, P., Holmüller, P. (2022): Retour d'expérience énergétique sur le quartier des Vergers à Meyrin (Genève), <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:164877>

Ammoniak (NH₃, R717) ist Favorit bei Grosswärmepumpen für Fernwärme Anwendungen

Ammoniak



- Natürliches Kältemittel
 - Zukunftsicher auch bei einer Verschärfung der F-Gase Regulierung
 - Treibhauspotenzial GWP = 0
 - Geringe Kosten
 - Hohe Verfügbarkeit
 - Niedrige Energiekosten durch hohe volumetrische Kälteleistung
-
- Toxizität → stechender Geruch → «eingebaute Warnwirkung»
 - Anlagensicherheit nicht wesentlich aufwendiger als bei synthetischen Kältemitteln
 - CO₂ als Option für kleinere Heizleistungen bis etwa 2 MW (David et al. 2017)

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

Walter Wettstein AG Kältetechnik



- Ausgewiesene jahrelange Erfahrung im Planen, Errichten und Unterhalten von Grosswärmepumpen
- 365 x 24 h Support mit insgesamt 55 Servicetechniker
- Umfangreiches Ersatzteillager in Gümligen (>13'000 Artikel)
- Eigene Gasüberwachungsanlage für SIL konforme Anlagenschaltungen
- Eigene Anlagensteuerung mit Anlagenportal für System und Energieüberwachungen
- Wettronic III Verdichtersteuerung
- Erprobtes Ölmanagement mit automatischer Ölrückführung aus dem Verdampfer

Potentiale für Prozesswärme durch Wärmepumpen

2-stufige Ammoniakwärmepumpe mit offenem Zwischenkühler Wärmeverbund Kappelenring (Wohlen, Bern)

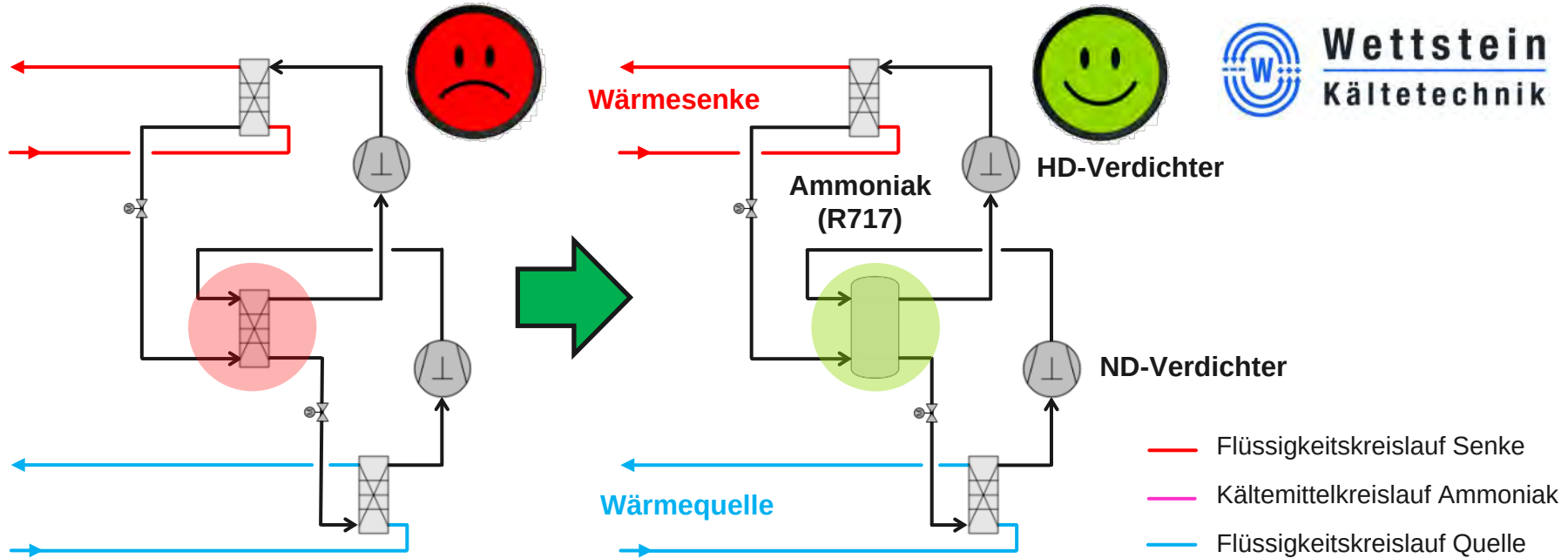


Wärmeverbund mit
45 Liegenschaften
und etwa 850
Haushaltungen
sowie Schulen und
Gebäude der
Gemeinde
Hinterkappelen

- Aare Flusswasser
- VL ca. 65 °C in Fernleitung
- 900 kW

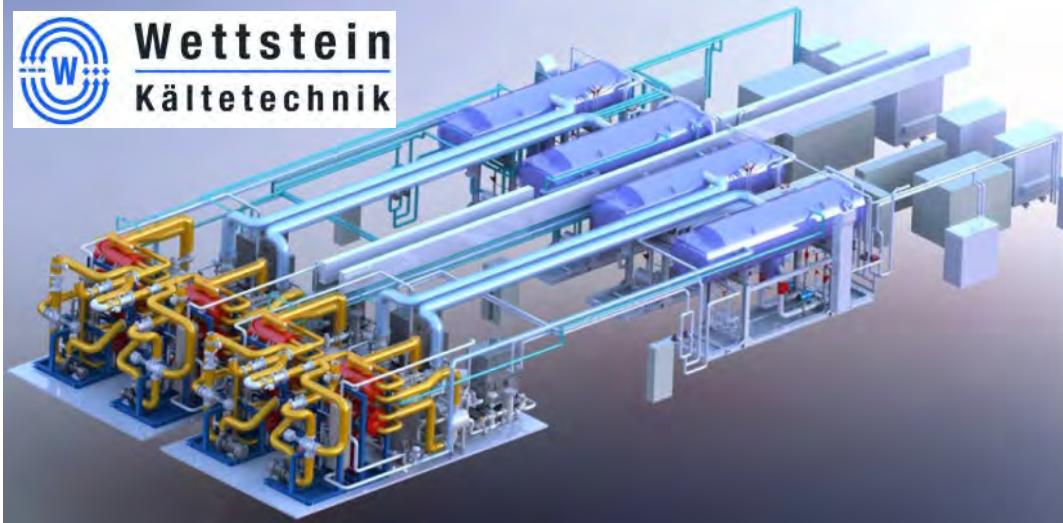


2-stufige Ammoniakwärmepumpe mit offenem Zwischenkühler



- Auf den Kaskadenwärmetauscher kann mit heutiger Technologie verzichtet werden (unnötige Temperaturdifferenz) → **Offener Zwischenkühler (Behälter)**, um über die gesamte Lebensdauer Energiekosten einzusparen

Wärme- und Kälteerzeugung an der EPFL in Lausanne



- Gesamtwärmeleistung 24 MW (4 x Ammoniak WP mit Schrauben)
- Wärmequelle: Genfersee, DN-900 Leitungen (4'000 m³/h Seewasser)
- Wasseraustrittstemperatur 52 °C für NT- und 67 °C HT-Netz
- Kältemittel NH₃ (Ammoniak) ist Favorit bei Grosswärmepumpen
- Kühlung des Data Centers

NIEDERTEMPERATURKREISLAUF PRO ANLAGE

Wärmeleistung:	6 MW
Wassertemperatur Heizung:	+37 / +52 °C
Seewassertemperatur:	+14 / 10 °C, +7 / 3 °C
Kälteleistung:	4.8 MW
Elektromotor Mittelspannung:	1650 kW_3.3 kV@FU
Anzahl:	2
Masse pro Anlage:	ca. L: 28.6 m; B: 4.0 m; H: 4.0 m

MITTELTEMPERATURKREISLAUF PRO ANLAGE

Wärmeleistung:	6 MW
Wassertemperatur Heizung:	+47 / +67 °C
Kälteleistung:	4.5 MW
Elektromotor Mittelspannung:	2000 kW_3.3 kV@FU
Anzahl:	2
Masse pro Anlage:	ca. L: 28.6 m; B: 4.0 m; H: 4.0 m

AGO Calora Wärmepumpen

Stadtwerke	Neuburg an der Donau	Lemgo
Inbetriebnahme	8/2021	5/2022
Heizleistung	ca. 1.0 MW	ca. 1.0 MW
Heizwassertemperatur	135/90 °C	85/65 °C
Wärmequelle	85/65 °C	10/3 °C
COP	ca. 4.5	3.1



Large scale heat pumps in Europe



VDI 4646 Richtlinie: Anwendungen von Grosswärmepumpen



Mögliches Erscheinungsdatum
2023-06

Autor
VDI-Fachbereich Energietechnik

Herausgeber
VDI-Gesellschaft Energie und Umwelt

Zugehörige Handbücher
VDI-Handbuch Energietechnik

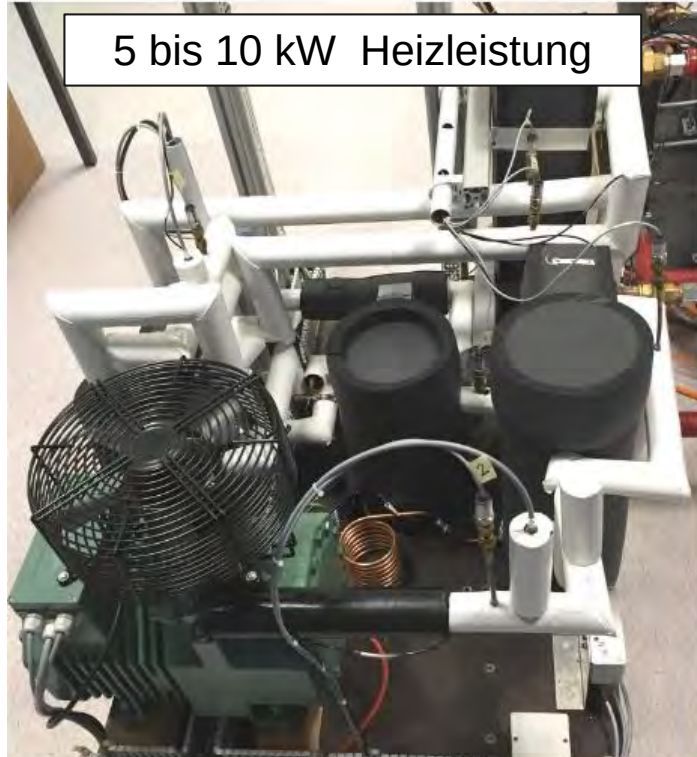
[Link: https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4646-anwendung-von-grosswaermepumpen](https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4646-anwendung-von-grosswaermepumpen)

- **Anwendungen von Großwärmepumpen (Leistung > 100 kW)** in den Bereichen Produktionsprozessen/ Industrie, kommunale Versorgung (Schwimmbäder), Versorgung von Quartieren/Wohnsiedlungen, Fernwärme usw.
- Die Richtlinie wird einen **Planungsprozess für die Integration** von Wärmepumpen in Produktionsanlagen/Versorgungsobjekten definieren.
- **Methodik mit Analyse** der örtlichen Gegebenheiten, Rahmenbedingungen, geeigneter Integrationspunkt, Auswahl von Wärmepumpentyp und Systemauslegung, Dimensionierung der Systemkomponenten (Wärmeübertrager, Speicher, Wärmepumpe), usw.

Forschungsschwerpunkte am Institut für Energiesysteme (IES)

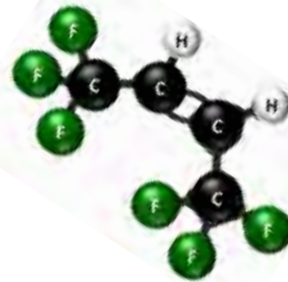
- **Demonstration** von Wärmepumpen zur **Dampferzeugung**
- **Prozessintegration** von Wärmepumpentechnologien
- **HTWP-Technologien**, die genau zu den Temperaturanforderungen passen
- **Fallbeispiele** für erfolgreiche Integrationen

Prototyp HTWP mit 80 °C bis 150 °C Vorlauftemperatur im Labor

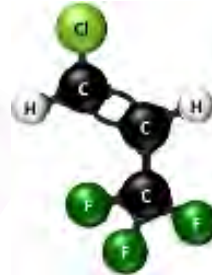


(Arpagaus et al., 2018, 2019)

Untersuchung verschiedener synthetischer HFO/HCFO Kältemittel



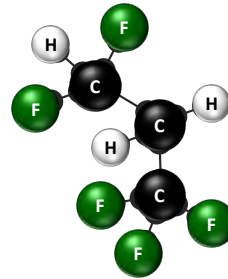
R1336mzz(Z)



R1233zd(E)



R1224yd(Z)



R245fa

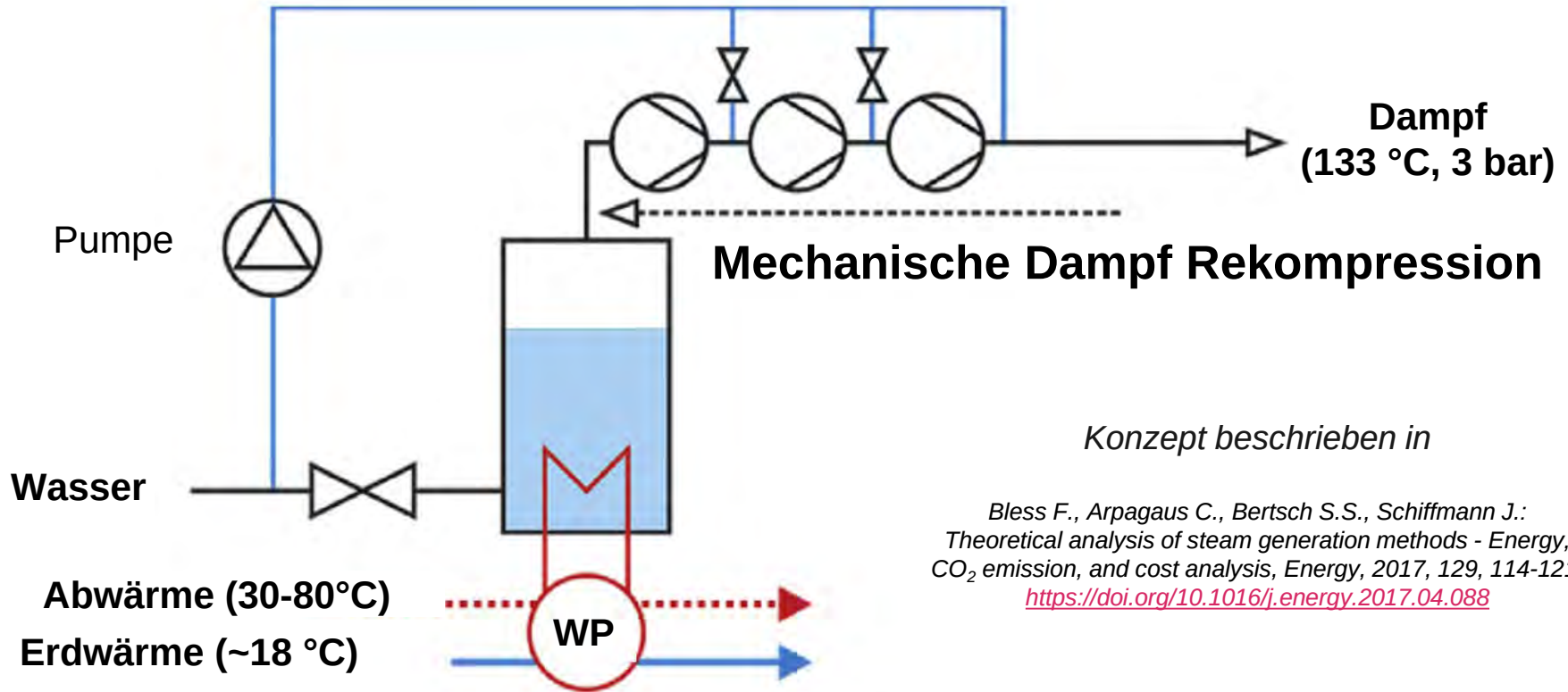
HFO: Hydrofluorolefine, HCFO: Hydrochlorfluorolefine

Eigenschaften:

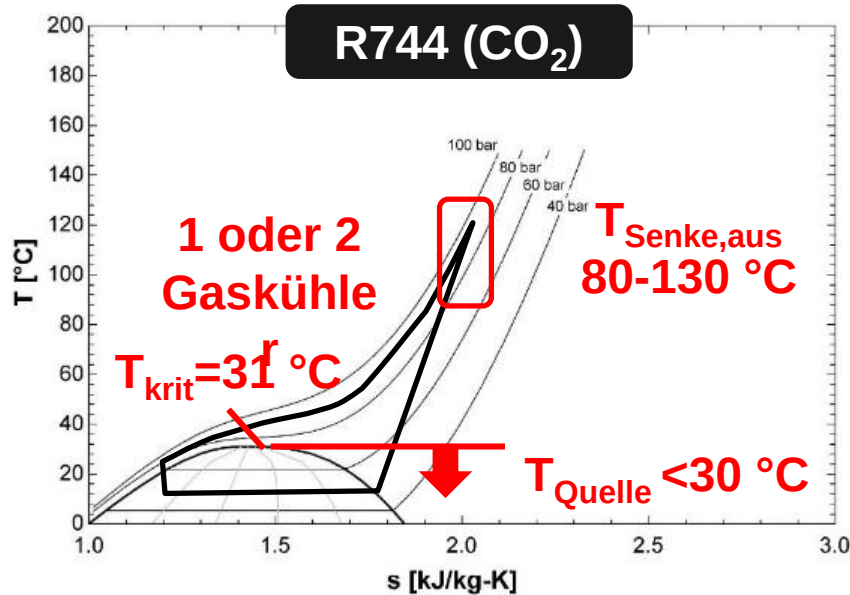
- Niedriges GWP (Treibhauspotential)
- Null/niedrig ODP (Ozonabbaupotential)
- kurze atm. Lebensdauer
- Nicht brennbar
- Nicht toxisch

Kältemittel	ODP	GWP ₁₀₀	SG
R1336mzz(Z)	0	2	A1
R1233zd(E)	0.00034	1	A1
R1224yd(Z)	0.00023	0.88	A1
R245fa	0	858	B1

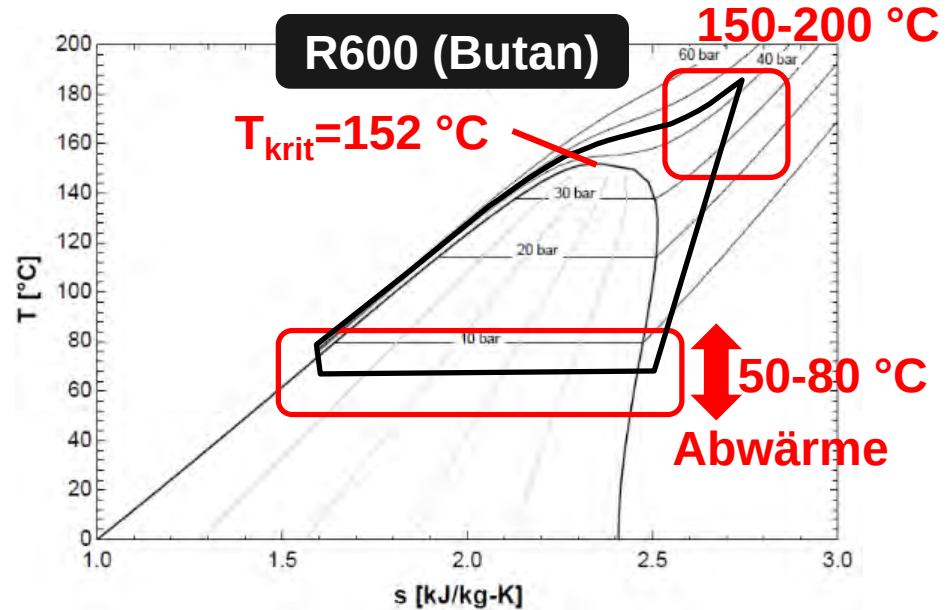
Neue Lösungsansätze zur Dampferzeugung



Transkritisch CO₂ (R744) vs. Butan (R600)



Geeignet für gleichzeitiges Heizen
(z.B. Wasser oder Luft von 20 bis 90 °C)
und Kühlen (<30 °C)



Geeignet für Wärmequellen wie
Abwärme (z.B. Rauchgas 50 bis 80 °C)
und zur Erzeugung von Heißluft von
150 bis 200 °C

Zusammenfassung

- **Anwendungspotential für Wärmepumpen ist gross:** Heißwasser, Heißluft, und Prozeßdampf
- **Zahlreiche Kompressionswärmepumpen** von verschiedenen Herstellern am Markt erhältlich: Vorlauftemperaturen $> 90^{\circ}\text{C}$ (einige $> 120^{\circ}\text{C}$, bis max. 165°C), HTWP im Großmaßstab (MW Leistungsbereich)
- **COP von etwa 4.0 bei 50 K Temperaturhub**, 45% Gütegrad
- **Verschiedene Kreisläufe:** meist 1-stufig, Optimierungen mit IHX und Economizer mit Zwischeneinspritzung in den Kompressor, Parallelschaltung von Kompressoren, Kaskade (R134a/R245fa), Kompressoren: Schrauben, 2-stufige Turbos, Hubkolben (parallel)
- **Wärmepumpen Integration ist von Fall zu Fall stark unterschiedlich:** meist mit Speicher und oft bivalent (z.B. WP für Grundlast, Gaskessel für Spitzenabdeckung und Redundanz)
- **Weltweit hohe Forschungsaktivität:** Vorlauftemperaturen $> 100^{\circ}\text{C}$, hauptsächlich DE, AT, CH, FR, NO, NL, JP, KR, und CN
- **Forschungsbedarf:** Optimierte Kreislaufdesigns, hohe Spreizungen, Dampferzeugung
- **Kältemittelentwicklung HFOs oder natürliche:** Trend zu natürlichen Kältemitteln R600 (Butan), R601 (Pentan), R744 (CO_2), R718 (H_2O), R717 (NH_3) und synthetischen HFOs / HCFOs mit niedrigem GWP, wie R1233zd(E), R1336mzz(Z), R1224yd(Z)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Dr. Cordin Arpagaus

Ostschweizer Fachhochschule
Departement Technik
Institut für Energiesysteme IES

cordin.arpagaus@ost.ch
Tel. +41 58 257 34 94
www.ost.ch/ies

Project: Annex 58 HTHP-CH
Integration of High-Temperature
Heat Pumps (HTHPs) in Swiss
Industrial Processes
(SI/502336-01)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Federal Office of Energy SFOE